0 890512 200001

89-05-12-20
(138.1)

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

Вариант 10 07

Место проведения Москва
город

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Олимпиада школьников Покори Воробъёвы горы
наменование олимпиады

по физике
профиль олимпиады

Блохиной Анны Станиславовны
фамилия, имя, отчество участника (в родительном падеже)

Дата
«3» апреля 2026 года

Подпись участника

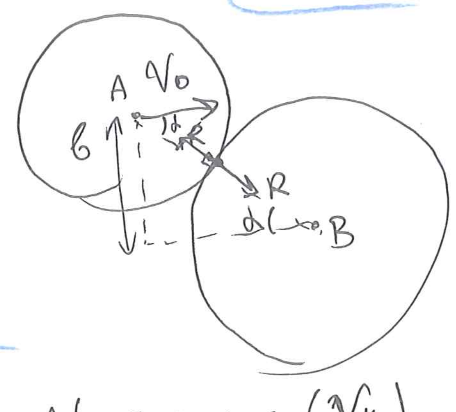
Выполнять задания на титульном листе запрещается!

Выполнять задания на титульном листе запрещается!

89-05-12-20 (138.1)

№1

Чистовик



$V_{\parallel} = V_0 \cos\alpha = V_0 \cdot \frac{\sqrt{4R^2-b^2}}{4R^2}$ ошибка

1) при $V_{\parallel} \le u$ $\xi\left(\frac{V_{\parallel}}{u}\right) = 0 \Rightarrow \Delta E = 0$.

2) при $V_{\parallel} \in \left(u; \frac{4}{3}u\right)$ $\xi\left(\frac{V_{\parallel}}{u}\right) = \left(-3 + 3\frac{V_{\parallel}}{u}\right) \Rightarrow$

3) при $V_{\parallel} \ge \frac{4}{3}u$: $\xi\left(\frac{V_{\parallel}}{u}\right) = 1 \Rightarrow \Delta E = \frac{mu^2}{3}$

β – угол разлёта

$\Delta E = mu^2\left(\frac{V_{\parallel}}{u} - 1\right)$

1) $V_{\parallel} \le u \Rightarrow V_0\sqrt{1-\frac{b^2}{4R^2}} \le u \Leftrightarrow 1 - \frac{b^2}{4R^2} \le \frac{u^2}{V_0^2} \Leftrightarrow$

$\Leftrightarrow b \ge 2R\sqrt{1-\frac{u^2}{V_0^2}} = 2R\sqrt{1-\frac{3^2}{5^2}} = \frac{8}{5}R$.

~~таком случае они просто пролетают мимо друг друга~~ $\Rightarrow$ ~~$\beta = 0°$~~ нет, $b \le 2R$, так что там мож. быть.

2) $V \in \left(u; \frac{4}{3}u\right) \Rightarrow \begin{cases} V_0\sqrt{1-\frac{b^2}{4R^2}} \le \frac{4}{3}u \Leftrightarrow b \ge 2R\sqrt{1-\frac{4^2}{3^2}\cdot\frac{u^2}{V_0^2}} = \\ b < \frac{8}{5}R \end{cases}$

$= 2R\sqrt{1-\frac{4^2}{3^2}\cdot\frac{3^2}{5^2}} = \frac{6}{5}R$. ~~в этом случае они тоже пролетают мимо~~ $\Rightarrow$ ~~$\beta = 0°$~~. $\Rightarrow$ ~~в случае если они сталкиваются~~ $\Delta E = \frac{mu^2}{3}$ $\left(b < \frac{6}{5}R\right)$

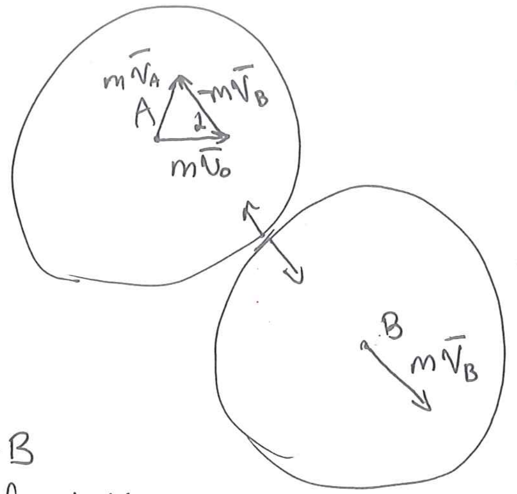
№	1	2	3	4
В	5	5	3	4
З	15	14	16	20

82 (восемьдесят два)

Марков

Подписывать лист-вкладыш запрещается! Писать на полях листа-вкладыша запрещается!

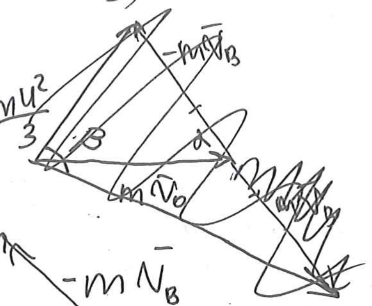
чистовик



Т. к. сила действ. только вдоль линии AB шайба B приобр. импульс вдоль этой линии. Чтобы суммар. импульс сохр, к нач. импульсу шайбы A долж. прибав. $-m\bar{V}_B$.

ЗСЭ:

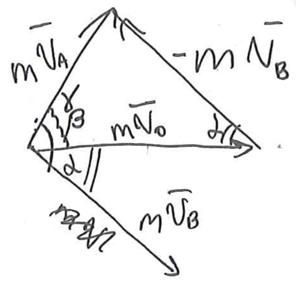
$$\frac{mV_0^2}{2} = \frac{mV_B^2}{2} + \frac{m(V_0^2 + V_B^2 - 2V_0V_B\cos\alpha)}{2} + \frac{mu^2}{3}$$



$$\cancel{V_0^2} = V_B^2 + \cancel{V_0^2} + V_B^2 - 2V_0V_B\cos\alpha + \frac{2u^2}{3}$$

$$V_B^2 - V_0\sqrt{1-\frac{b^2}{4R^2}}\,V_B + \frac{u^2}{3} = 0$$

$$V_B = \frac{V_0\sqrt{1-\frac{b^2}{4R}} \pm \sqrt{V_0^2\left(1-\frac{b^2}{4R^2}\right) - \frac{4u^2}{3}}}{2}$$



$$\beta = \alpha + \arcsin\left(\frac{\sin\alpha}{mV_A} \cdot mV_B\right) = \alpha + \arcsin\left(\frac{V_B}{V_A}\sin\alpha\right)$$

Макс. угол разлёта мож. быть 180° при лобовом ударе (если 1-я шайба полетит обратно. Т.е. V_B должно быть $> V_0$.

$$\sin\gamma = \frac{V_B}{V_A}\sin\alpha$$

$$\sin\alpha = \frac{b}{2R}$$

$$V_{B0} = \frac{V_0 \pm \sqrt{V_0^2 - \frac{4u^2}{3}}}{2}$$

при $b = \sqrt{2}R$:

$$\beta = 45° + \arcsin\left(\frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{5\sqrt{1-\frac{1}{2}} \pm \sqrt{25\left(1-\frac{1}{2}\right) - \frac{4\cdot 3^2}{3}}}{2}\right) = 45° + \arcsin\left(\frac{1}{2\sqrt{2}} \cdot \left(\frac{5}{\sqrt{2}} \pm \frac{1}{\sqrt{2}}\right)\right) =$$

$\frac{4}{\sqrt{2}}$ $\frac{6}{\sqrt{2}}$

$\Rightarrow$ знак $-$

$= 45° + \arcsin(1)$ или ~~$45° + \arcsin\frac{3}{2}$~~

$= \boxed{135°}$

при $b = R$:

продолж. после задачи 4

$\boxed{\beta_{max} = 90° \text{ - при } b > \frac{8}{5}R}$

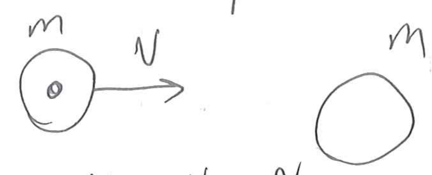
ЛИСТ-ВКЛАДЫШ

Подписывать лист-вкладыш запрещается! Писать на полях листа-вкладыша запрещается!

ЛИСТ-ВКЛАДЫШ

89-05-12-20 (138:1)

Ответ на вопрос №1: чистовик



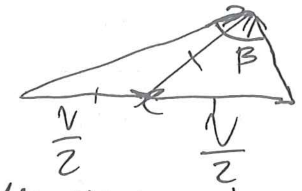
В ЦСМ: $v_{цм} = \frac{v}{2}$

до удара $\xrightarrow{\frac{v}{2}}$ $\xleftarrow{\frac{v}{2}}$

после $\xleftarrow{\frac{v}{2}}$ $\xrightarrow{\frac{v}{2}}$

(но как-то повернуты)

~~[illegible]~~ перейд. обратно в ЗСО:



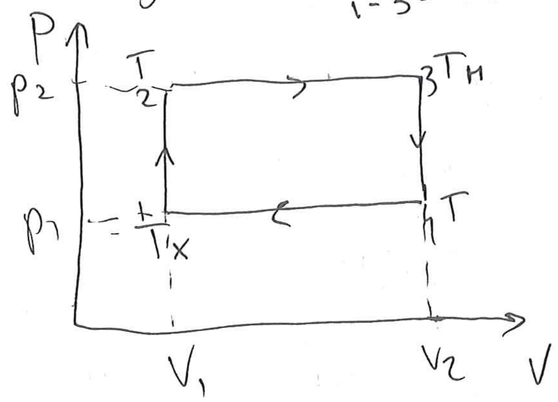
Медиана $= \frac{1}{2}$ ст., к кот. пров. $\Rightarrow \beta = 90°$.

№2

$\boxed{C_v = \frac{i}{2}R;\ C_p = \left(\frac{i}{2}+1\right)R.}$ – Вопрос

Задача:

$i = 3 \Rightarrow C_v = \frac{3}{2}R;\ C_p = \frac{5}{2}R$



$\eta = 1 - \frac{|Q_-|}{Q_+}$

$|Q_-| = |Q_{341}| = \nu C_v(T_н - T) + \nu C_p(T - T_x).$

$Q_+ = Q_{123} = \nu C_v(T - T_x) + \nu C_p(T_н - T)$

$\frac{p_1 \cancel{V_2}}{T} = \frac{p_2 \cancel{V_2}}{T_н};\ \frac{p_2}{T} = \frac{p_1}{T_x}$

$\frac{1}{T^2} = \frac{1}{T_н \cdot T_x} \Leftrightarrow T = \sqrt{T_н \cdot T_x}$

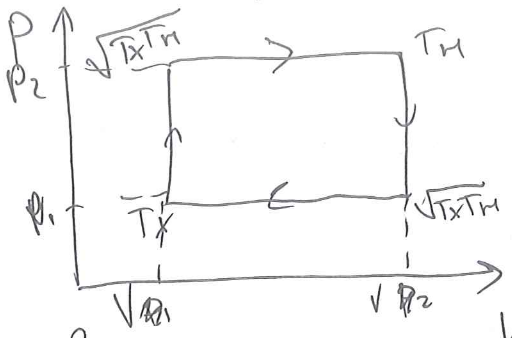
$\eta = 1 - \frac{C_v(T_н - \sqrt{T_н T_x}) + C_p(\sqrt{T_н T_x} - T_x)}{C_v(\sqrt{T_н T_x} - T_x) + C_p(T_н - \sqrt{T_н T_x})} =$

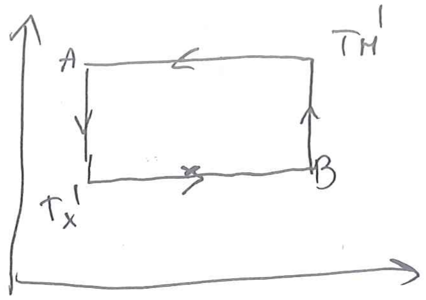
$= 1 - \frac{C_v(T_н - T_x) + R(\sqrt{T_н T_x} - T_x)}{C_v(T_н - T_x) + R(T_н - \sqrt{T_н T_x})} = \boxed{\frac{T_н + T_x - 2\sqrt{T_н T_x}}{\frac{3}{2}(T_н - T_x) + (T_н - \sqrt{T_н T_x})}} =$

$= \frac{(588 + 300 - 2\sqrt{2^2 \cdot 7^2 \cdot 3^2 \cdot 10^2})\,К}{\left(\frac{3}{2}(588 - 300) + 588 - 2 \cdot 7 \cdot 3 \cdot 10\right)К} = \frac{888 - 840}{3 \cdot 144 + 168} = \frac{12}{3 \cdot 36 + 42} = \frac{12}{150} = \frac{4}{50} = \boxed{0{,}08}$

Подписывать лист-вкладыш запрещается! Писать на полях листа-вкладыша запрещается!

чистовик





Выглядит точно так же => ~~точки~~ A и B тоже леж. на 1 изотерме. => $T_A = T_B = \sqrt{T_x' T_н'}$

$$\eta = \frac{A - |A'|}{Q_н + |Q_н'|} \qquad A = (V_2 - V_1)(p_2 - p_1) = V_2p_2 + V_1p_1 - V_1p_2 - V_2p_1 = \nu R(T_н + T_x - 2\sqrt{T_нT_x})$$

A' и $Q_н'$ - подв. тепло и работа, если бы цикл шёл в обрат. ст.

A аналогично $|A'| = \nu' R(T_н' + T_x' - 2\sqrt{T_н'T_x'})$

$$Q_н = \nu\left(C_V(\sqrt{T_xT_н} - T_x) + \overset{C_V+R}{C_p}(T_н - \sqrt{T_xT_н})\right) =$$

$$= \nu R\left(\tfrac{3}{2}(T_н - T_x) + T_н - \sqrt{T_нT_x}\right).$$ Аналогично $Q_н' = \nu' R\left(\frac{3}{2}(T_н' - T_x') + T_н' - \sqrt{T_н'T_x'}\right)$

Если $\nu' \neq \nu$, ν' и ν не сократятся, поэтому далее предполож., что $\nu = \nu'$, и что там газ также одноатом.).

$$\boxed{\eta = \frac{(T_н + T_x - 2\sqrt{T_нT_x}) - (T_н' + T_x' - 2\sqrt{T_н'T_x'})}{\frac{3}{2}(T_н - T_x) + T_н - \sqrt{T_нT_x} + \frac{3}{2}(T_н' - T_x') + T_н' - \sqrt{T_н'T_x'}}} =$$

$$= \frac{(588 + 300 - 2\cdot 420) - (\overset{854}{504 + 350} - 2\cdot\sqrt{10\cdot 7\cdot 5\cdot 2\cdot 2\cdot 2\cdot 7\cdot 9})}{\frac{3}{2}\cdot 288 + 588 - 420 + \frac{3}{2}\cdot 154 + 504 - 420} =$$

$$= \frac{40 - \overset{26}{14}}{\overset{663}{3\cdot(\overset{221}{144+77})} + \overset{252}{168 + 84}} = \boxed{\frac{26}{915}}$$

~~915 | 13~~

Стало хуже?

ЛИСТ-ВКЛАДЫШ

Подписывать лист-вкладыш запрещается! Писать на полях листа-вкладыша запрещается!

~~При~~ При $b=0$ ~~и~~ $\beta = 0^\circ$ (т.к. $v_B < v_0 \Rightarrow$ шар A продолж. лететь дальше)

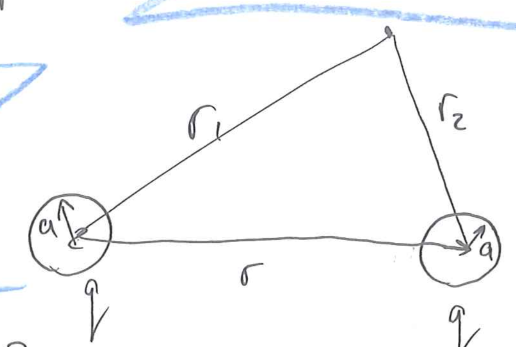
Чистовик

89-05-12-20 (138.1)

№3

Чистовик

Вопрос:



~~$r \gg a \Rightarrow$ можно рассматр. их как точеч. заряды.~~

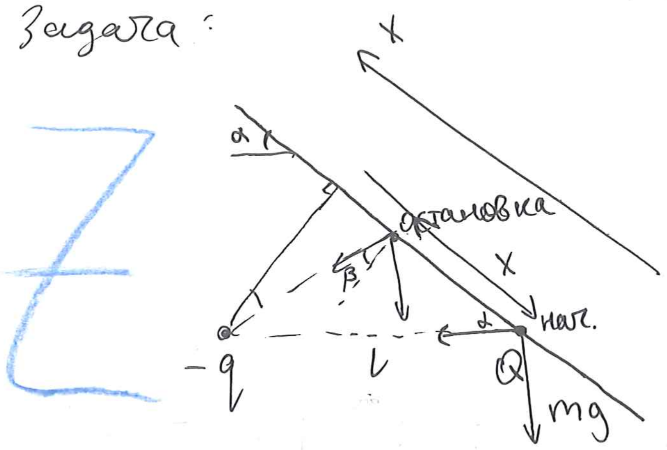
~~φ ... в какой-то точке~~

Воспольз. принципом супер-позиции. Если бы был только 1 шар, то заряд распр. бы по поверхности равномерно $\Rightarrow$ снаружи поле как у точеч. заряда в центре шара. $\Rightarrow \varphi_1 = \frac{kq}{r_1}$. Аналогично если бы был только 2-й шар. $\Rightarrow \varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = kq\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$. $\Rightarrow W_{поля} = \boxed{kqQ\left(\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}\right)}$

прод. заряд.

забыли энергию взаимод.

Задача:



Изначально шайба покоилась $\Rightarrow$ $\alpha = 45^\circ$

$$\frac{kqQ\cos\alpha}{l^2} = mg\sin\alpha$$

$$\Leftrightarrow mg = \frac{kqQ}{l^2}.$$

Останов. $\Rightarrow v = 0$. ЗСЭ:

$$-\frac{kqQ}{l} = \frac{-kqQ}{\sqrt{(l - x\cos\alpha)^2 + x^2\sin^2\alpha}} + mgx\sin\alpha$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{l} = \frac{1}{\sqrt{l^2 - 2lx\cos\alpha + x^2}} - \frac{x\sin\alpha}{l^2}$$

$$\Leftrightarrow \left(\frac{1}{l} + \frac{x\sin\alpha}{l^2}\right)^2 = \frac{1}{l^2 - 2lx\cos\alpha + x^2}$$

$$\Leftrightarrow \cancel{\frac{1}{l^2}(l^2 - 2lx\cos\alpha + x^2) - \frac{2x\sin\alpha}{l^3}(l^2 - 2lx\cos\alpha + x^2) + \frac{x^2\sin^2\alpha}{l^2}(l^2 - 2lx\cos\alpha + x^2)}$$

$$l^2 - 2lx\cos\alpha + x^2 = \frac{l^4}{(l + x\sin\alpha)^2}$$

чистовик

$l^2 - 2lx\cos\alpha + x^2 = \frac{l^4}{(l+x\sin\alpha)^2}$ $\sin\alpha = \cos\alpha = \frac{1}{\sqrt2}$

$l^2\left(l^2+\sqrt2 lx+\frac{x^2}{2}\right) - \sqrt2 lx\left(l^2+\sqrt2 lx+\frac{x^2}{2}\right) + x^2\left(l^2+\sqrt2 lx+\frac{x^2}{2}\right) = l^4$

$+\sqrt2 l^3x + \frac{l^2x^2}{2} - 2l^2x^2 - \sqrt2 l^3 x - \frac{lx^3}{\sqrt2} + x^2l^2 + \sqrt2 lx^3 + \frac{x^4}{2} = 0$

$\frac{x^4}{2} - x^3\left(\frac{l}{\sqrt2} - \sqrt2 l\right) - x^2\cdot\frac{1}{2}l^2 = 0$

$x^3 - 3\sqrt2 x^2 + 7x - 2\sqrt2 = 0$

$\frac{x^2}{2} + x\left(l\cdot\frac{2-1}{\sqrt2}\right) - \frac{l^2}{2} = 0$

$x^2 + \sqrt2 lx - l^2 = 0$

$x = \frac{-\sqrt2 l + \sqrt{2l^2+4l^2}}{2} = \boxed{\frac{\sqrt6-\sqrt2}{2}l} = \boxed{20(\sqrt6-\sqrt2)\text{ см}}$

не число!

2-й з-н Ньютона на Ox:

$ma = \frac{kqQ}{l^2 - \sqrt2 lx + x^2}\cdot\frac{l\cos\alpha - x}{l\sin\alpha} - \frac{mg}{\sqrt2}$

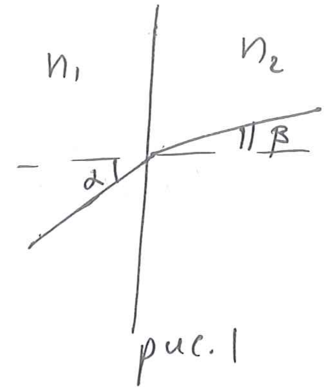
$ma = \frac{kqQ}{l^2\left(1 - \frac{2\sqrt3-2}{2} + \frac{6+2-4\sqrt3}{4}\right)}\cdot\frac{l - \frac{2\sqrt3-2}{2}l}{l} - \frac{mg}{\sqrt2}$

$a = g\cdot\left(\frac{1}{2-\sqrt3+2-\sqrt3}\cdot(2-\sqrt3) - \frac{1}{\sqrt2}\right) = \left(\frac12 - \frac{1}{\sqrt2}\right)g = \frac{1-\sqrt2}{2}g$ вверх =

$= \boxed{\frac{\sqrt2-1}{2}g \text{ вниз}}$

№4 чистовик

Вопрос:

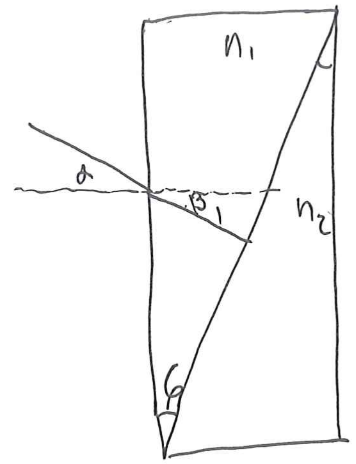


Луч падающий и преломлённый лежат в 1 плоскости, но в разную сторону от перпендикуляра в точке падения.

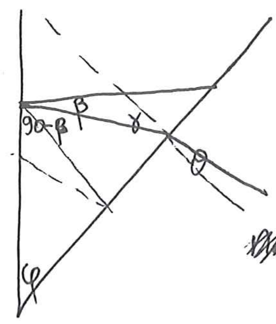
$n_1\sin\alpha = n_2\sin\beta$, n_1 и n_2 – показатели преломления сред (см. рис. 1).

что такое n – ?

Задача:



$\beta_1 = \frac{\alpha}{n_1}$. α, φ – мал. β_1 – тоже мал.

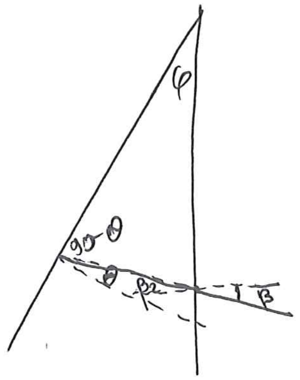


$\gamma = 90° - (180° - 90° + \beta - \varphi) = \varphi - \beta$ – при $\varphi > \beta$.

при $\varphi < \beta_1$: $\gamma = \beta - \varphi$.

$n_1\gamma = n_2\theta$

$\theta = \frac{n_1}{n_2}(\varphi - \beta_1)$



$\beta_2 = 90° - (180° - 90° + \theta - \varphi) = \varphi - \theta$ или $\theta - \varphi$.

$n_2\left(\varphi - \frac{n_1}{n_2}(\varphi - \beta_1)\right) = \beta$

$\varphi(n_2 - n_1) - n_1\beta_1 = \varphi(n_2 - n_1) - \alpha = \beta$.

$\delta = \alpha + \beta = \varphi(n_2 - n_1) = \varphi\Delta n = 3°\cdot 0{,}5 = \boxed{1{,}5°}$